

УДК 338 (447)

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ РАЗВИТИЯ МАКРО- ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В.Л. Лисицкий

Кандидат технических наук, доцент

Кафедра автоматизированных систем управления*

Контактный тел.: 8 (057) 707-65-20

М.А. Гринченко

Старший преподаватель

Кафедра стратегического управления*

*Национальный технический университет «ХПИ»

ул. Фрунзе 21, г. Харьков, Украина, 61002

Контактный тел.: 8 (057) 707-68-24

E-mail: mgrinchenko@list.ru

У роботі розглядається розробка структури системи прогнозування на основі імітаційної моделі процесів розвитку макроекономічної системи. Розроблено алгоритм функціонування імітаційної моделі прогнозування, який дозволяє отримувати траєкторію зміни змінних стану на основі методу системної динаміки

Ключові слова: макроекономічна система, імітаційна модель, змінні стану

В работе рассматривается разработка структуры системы прогнозирования на основе имитационной модели процессов развития макроэкономической системы. Разработан алгоритм функционирования имитационной модели прогнозирования, позволяющий получать траекторию изменения переменных состояния на основе метода системной динамики

Ключевые слова: макроэкономическая система, имитационная модель, переменные состояния

The development of the forecasting system structure on the basis of simulation model of processes of macroeconomic system development is considered. The algorithm of simulation forecasting model functioning is developed. It allows to get the trajectory of state variables on the basis of system dynamic method

Key words: macroeconomic system, simulation model, state variables

1. Введение

В современных условиях государственная политика Украины направлена на развитие самостоятельности регионов в рамках унитарного государства, особое внимание уделяется разработке концепций, стратегий и программ развития регионов. В работе рассматривается региональная макроэкономическая система (МЭС) представляющая собой совокупность всех видов экономической деятельности на определенной территории, в процессе их взаимодействия, направленных на производство, обмен, распределение, потребление товаров и услуг, а также на управление этой деятельностью с целью наиболее полного удовлетворения постоянно растущих потребностей общества при действующих экономических, социальных, экологических ограничениях.

Система регионального управления, как правило, должна содержать систему прогнозирования процессов развития МЭС, предназначенную для оценки ди-

намики развития МЭС и для оценки последствий реализации проводимой государственной политики [1].

В рамках системы прогнозирования процессов развития МЭС необходимо обеспечить взаимодействие подсистемы мониторинга, подсистемы моделирования развития МЭС и подсистемы вариантного прогнозирования.

Подсистема моделирования развития МЭС основана на имитационном моделировании системы управления (СУ) МЭС, которая содержит имитационные модели: сферы производства (СПР), сферы потребления (СПО) и экологической сферы (ЭС). В подсистеме реализуется моделирование создания валового внутреннего продукта (ВВП) и основных его компонент определяемых системой национальных счетов (СНС), а также проводится анализ системы показателей.

Целью работы является разработка имитационной модели прогнозирования процессов развития региональной макроэкономической системы на основе принципов системной динамики.

2. Имитационная модель прогнозирования процессов развития макроэкономических систем

В основу моделирования процессов развития МЭС положен метод системной динамики [2, 3], разработанный в рамках модели мировой экономики Дж. Форрестера [2]. Однако, для того, чтобы данную модель можно было эффективно использовать для достижения поставленной цели необходимо произвести ее модификацию. В работе предлагается дополнить пять уровней, предложенных Дж. Форрестером, такими уровнями как: интегральный интеллект общества, доля интегрального интеллекта в сельском хозяйстве и ВВП.

При построении модели выделим наиболее существенные процессы в регионе: изменения демографической ситуации, накопления и выбытия фондов, расходования невозобновляемых природных ресурсов, загрязнения окружающей природной среды, процессы накопления и развития интегрального интеллекта нации и другие процессы. Для того чтобы описать эти процессы, определим переменные состояния модели МЭС (уровни).

Предполагается, что переменные состояния изменяются по экспоненциальному закону, а скорость изменения переменной состояния модели определяется производной первого порядка на интервале $[t_k, t_{k+1}]$. Для приближенного определения значений скорости изменения переменных состояния осуществляется замена производной конечными разностями

$$Y(t_{k+1}) = Y(t_k) + (P(x, Y(t_k)) - U(x, Y(t_k))) \cdot h, \quad (1)$$

где $P(x, Y(t_k))$, $U(x, Y(t_k))$ – темпы прироста и убытия переменной состояния $Y(t_k)$ в зависимости от значения параметров состояния x , h – величина периода дискретизации.

Введем следующие обозначения для уровней:

$Y_1(t_k)$ – численность населения МЭС в момент времени t_k ;

$Y_2(t_k)$ – объем имеющихся фондов МЭС в момент времени t_k ;

$Y_3(t_k)$ – объем природных ресурсов МЭС в момент времени t_k ;

$Y_4(t_k)$ – загрязненность окружающей среды МЭС в момент времени t_k ;

$Y_5(t_k)$ – доля фондов в сельском хозяйстве МЭС в момент времени t_k ;

$Y_6(t_k)$ – интегральный интеллект общества МЭС в момент времени t_k ;

$Y_7(t_k)$ – доля интеллекта в сельском хозяйстве МЭС в момент времени t_k ;

$Y_8(t_k)$ – валовый внутренний продукт МЭС в момент времени t_k .

Тогда для каждого уровня, согласно (1), справедливо соотношение

$$Y_l(t_{k+1}) = Y_l(t_k) + (\bar{P}_l(\bar{x}, \bar{Y}(t_k)) - \bar{U}_l(\bar{x}, \bar{Y}(t_k)))h, \quad l=1, M-1, \quad (2)$$

где

$$\bar{Y}(t_k) = (Y_1(t_k), Y_2(t_k), \dots, Y_M(t_k)), \quad \bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_q),$$

$$\bar{P}(\bar{x}, \bar{Y}(t_k)) = (P_1(\bar{x}, \bar{Y}(t_k)), P_2(\bar{x}, \bar{Y}(t_k)), \dots, P(\bar{x}, \bar{Y}(t_k))),$$

$$\bar{U}(\bar{x}, \bar{Y}(t_k)) = (U_1(\bar{x}, \bar{Y}(t_k)), U_2(\bar{x}, \bar{Y}(t_k)), \dots, U(\bar{x}, \bar{Y}(t_k))),$$

$\bar{P}_l(\bar{x}, \bar{Y}(t_k))$, $\bar{U}_l(\bar{x}, \bar{Y}(t_k))$ – темпы прироста и убытия l -го уровня, относительно которых предполагается, что

$$P_l(\bar{x}, \bar{Y}(t_k)) = Y_l^p(t_k) \cdot N_s \cdot \prod_{i=1}^{R_l^p} P_i(x_j^p), \quad t_k \in [0, N], \quad (3)$$

$$U_l(\bar{x}, \bar{Y}(t_k)) = Y_l^u(t_k) \cdot N_s \cdot \prod_{i=1}^{R_l^u} u_i(x_j^u), \quad t_k \in [0, N], \quad (4)$$

где R_l^p, R_l^u – количество множителей для l -го уровня темпов прироста и убытия, $N_s, s=1, \dots, v$ – параметры состояний модели, используемые для настройки модели, которые характеризуют нормированные коэффициенты процессов развития МЭС. Параметры x_j^p, x_j^u определяют значения функций прироста (убытия) в момент времени t_k . Индексы j зависят от значения индекса l -го уровня (переменной состояния) МЭС и значения индекса i -ой функции прироста или убытия (см. табл. 1).

Таблица 1

Определение значений индексов параметров x_j^p, x_j^u

| i | Прирост (P) | | | | Убытие (U) | | | |
|---|-------------|----|---|----|------------|---|---|----|
| 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 1 | 6 | 4 | 10 | 1 | 6 | 4 | 10 |
| 2 | 10 | | | | | | | |
| 3 | | | | | 10 | | | |
| 4 | 2 | | | | 13 | | | |
| 5 | 6 | 14 | | | | | | |
| 6 | 10 | | | | | | | |
| 7 | 6 | 14 | | | | | | |

Основные зависимости (3), (4) задаются экспертами в виде таблиц с линейной интерполяцией.

Моделирующий алгоритм функционирования имитационной модели прогнозирования процессов развития МЭС состоит из следующих шагов.

Шаг 1. Устанавливаются: начальное значение t_0 , шаг дискретизации h , длина интервала моделирования N , значения уровней $Y_l(t_0)$.

Шаг 2. Определяются значения настроечных параметров состояния модели N_s .

Шаг 3. Определяется значение уровня объема природных ресурсов $Y_3(t_k)$.

$$Y_3(t_{k+1}) = Y_3(t_k) + (-U_3(\bar{x}, \bar{Y}(t_k)))h,$$

$$\text{где } U_3(\bar{x}, \bar{Y}(t_k)) = Y_1(t_k) \cdot N_5 \cdot u_1^3(x_{10}),$$

где $U_3(\bar{x}, \bar{Y}(t_k))$ – темп расходования природных ресурсов, N_5 – нормальный темп добычи природных ресурсов, $u_1^3(x_{10})$ – зависимость темпа расходования природных ресурсов от отношения уровня развития производительных сил.

Производительные силы МЭС характеризуются материальной и интеллектуальной составляющими. Взаимовлияние накопленных объемов материальной и интеллектуальной составляющих на развитие производительных сил МЭС определяется как среднее геометрическое этих составляющих:

$$x_{10} = \sqrt{x_8 \cdot x_9}, \quad (5)$$

где x_8 – материальный уровень развития производительных сил МЭС, x_9 – интеллектуальная составляющая уровня развития производительных сил МЭС. Материальный уровень определяется следующим образом

$$x_8 = x_2 \cdot (1 - Y_5(t_k)) / (1 - N_7) \cdot w(x_5) / N_6, \quad (6)$$

где числитель определяет эффективность относительной величины фондов в момент времени t_k . При этом $x_2(1 - Y_5(t_k))$ – удельный промышленный капитал, $w(x_5)$ – функция зависимости добычи невозполнимых природных ресурсов от оставшейся их части при этом x_2 , x_5 определяются следующим образом:

$$x_2 = Y_3(t_k) / Y_3(t_k) \quad (7)$$

$$x_5 = Y_2(t_k) / N_{11}. \quad (8)$$

Предполагается, что темпы добычи невозполнимых природных ресурсов зависят от остающегося объема природных ресурсов.

$$x_9 = ((x_{11} \cdot ((1 - Y_7(t_k)) / (1 - N_{16})) \cdot w(x_5))) / N_{18}, \quad (9)$$

где числитель $x_{11} \cdot ((1 - Y_7(t_k)) / (1 - N_{16})) \cdot w(x_5)$ определяет эффективность относительной величины интеллектуальной составляющей в момент времени t_k .

Относительная величина интегрального интеллекта определяется выражением:

$$x_{11} = Y_6(t_k) / Y_1(t_k). \quad (10)$$

Шаг 4. Определяется $Y_2(t_k)$ – уровень фондов

$$Y_2(t_{k+1}) = Y_2(t_k) + (P_2(\bar{x}, \bar{Y}(t_k)) - U_2(\bar{x}, \bar{Y}(t_k)))h,$$

$$P_2(\bar{x}, \bar{Y}(t_k)) = Y_1(t_k) \cdot N_8 \cdot p_1^2(x_{10}), \quad U_2(\bar{x}, \bar{Y}(t_k)) = Y_2(t_k) \cdot N_{16},$$

где $P_2(\bar{x}, \bar{Y}(t_k))$ – прирост или генерации фондов, $U_2(\bar{x}, \bar{Y}(t_k))$ – убытие фондов, N_8 – нормальный темп генерации фондов, N_{16} – нормальный темп износа фондов. Фонды производятся людьми, поэтому его прирост пропорционален численности населения, $p_1^2(x_{10})$ – унитарный множитель, характеризующий увеличение скорости генерации капиталовложений с ростом уровня производительных сил.

Шаг 5. Проводится определение уровня загрязнения $Y_4(t_k)$.

$$Y_4(t_{k+1}) = Y_4(t_k) + (P_4(\bar{x}, \bar{Y}(t_k)) - U_4(\bar{x}, \bar{Y}(t_k)))h,$$

$$\text{где } P_4(\bar{x}, \bar{Y}(t_k)) = Y_1(t_k) \cdot N_{12} \cdot p_1^4(x_2),$$

$U_4(\bar{x}, \bar{Y}(t_k)) = Y_4(t_k) \cdot (u_1^4(x_{13}))^{-1}$, $P_4(\bar{x}, \bar{Y}(t_k))$ – темп образования загрязнения, $U_4(\bar{x}, \bar{Y}(t_k))$ – темп разложения загрязнения, N_{12} – нормальный темп образования загрязнения, $p_1^4(x_2)$ – зависимость темпов образования и разложения от фондовооруженности, $u_1^4(x_{13})$ – зависимость темпа разложения загрязнения от отношения материальной и интеллектуальной составляющих уровня развития производительных сил ($x_{13} = x_8 / x_9$).

Шаг 6. Определяется уровень населения МЭС $Y_1(t_k)$.

$$Y_1(t_{k+1}) = Y_1(t_k) + (P_1(\bar{x}, \bar{Y}(t_k)) - U_1(\bar{x}, \bar{Y}(t_k)))h,$$

где

$$P_1(\bar{x}, \bar{Y}(t_k)) = Y_1(t_k) \cdot N_3 \cdot p_1^1(x_1) \cdot p_2^1(x_6) \cdot p_3^1(x_4) \cdot p_4^1(x_{10}), \quad (11)$$

$$U_1(\bar{x}, \bar{Y}(t_k)) = Y_1(t_k) \cdot N_4 \cdot u_1^1(x_1) \cdot u_2^1(x_6) \cdot u_3^1(x_4) \cdot u_4^1(x_{10}), \quad (12)$$

где $P_1(\bar{x}, \bar{Y}(t_k))$ – темп рождаемости, $U_1(\bar{x}, \bar{Y}(t_k))$ – темп смертности, N_3 – нормальный темп рождаемости, N_4 – нормальный темп смертности.

Функции $p_1^1(x_1)$, $u_1^1(x_1)$ задают зависимость темпа рождаемости и темпа смертности от x_1 – относительной плотности населения. Этот параметр определяется как

$$x_1 = Y_1(t_k) / N_1 \cdot N_2. \quad (13)$$

Значение $x_1 = 1$ соответствует нормальным условиям. Меньшие значения относительной плотности населения способствуют росту темпа рождаемости, большие вызывают его падение.

Функции $p_3^1(x_4)$, $u_3^1(x_4)$ отражают зависимость темпа рождаемости и темпа смертности от x_4 относительной загрязненности, которая определяется как

$$x_4 = Y_4(t_k) / N_7. \quad (14)$$

Зависимость темпа рождаемости и темпа смертности от уровня развития производительных сил (x_{10}) выражается функциями $p_4^1(x_{10})$, $u_4^1(x_{10})$. При $x_{10} = 1$, составляющая уровня развития производительных сил не сказывается на сложившемся в системе темпе рождаемости. Уменьшение x_{10} вызывает увеличение рождаемости, а увеличение x_{10} сокращает темп рождаемости.

Функции $p_2^1(x_6)$, $u_2^1(x_6)$ отражают зависимость темпа рождаемости и темпа смертности от относительного уровня питания населения x_6 , при $x_6 = 1$ соответствует нормальным условиям. Повышение уровня питания способствует увеличению темпа рождаемости, понижение – его сокращению.

$$x_6 = f_1(x_3)f_2(x_1)f_3(x_4)f_4(x_{12})(N_{14} / N_{13}), \quad (15)$$

где $f_1(x_3)$ – множитель, описывающий зависимость продуктивности сельского хозяйства от величины удельных сельскохозяйственных капиталовложений, $f_2(x_1)f_3(x_4)$ – множители, учитывающие понижение продуктивности сельского хозяйства из-за роста плотности населения и загрязнения, соответственно, $f_4(x_{12})$ – зависимость выпуска пищевых продуктов от относительной величины интеллекта, задействованного в сельском хозяйстве, при этом x_{12} определяется следующим образом

$$x_{12} = x_{11}(Y_7(t_k) / N_{16}). \quad (16)$$

Относительная величина фондов определяется как

$$x_3 = x_2(Y_5(t_k) / N_7). \quad (17)$$

Шаг 7. Осуществляется вычисление переменной x_7 – «качество жизни». Предполагается, что этот параметр является мерой функционирования МЭС и зависит от относительной плотности населения, относительной величины загрязненности, относительного уровня питания и уровня развития производительных сил.

С учетом вышеперечисленных оценок качество жизни задается в виде произведения четырех множителей

$$x_7 = q_1(x_1)q_2(x_6)q_3(x_4)q_4(x_{10})N_{15}, \quad (18)$$

где $q_1(x_1)$ – зависимость качества жизни от относительной плотности населения, $q_2(x_6)$ – зависимость качества жизни от относительного уровня питания населения, $q_3(x_4)$ – зависимость качества жизни от относительной загрязненности окружающей среды, $q_4(x_{10})$ – зависимость качества жизни от уровня развития производительных сил, N_{15} – стандартное качество жизни.

Шаг 8. Вычисляется $Y_5(t_k)$ – доля сельскохозяйственного капитала МЭС:

$$Y_5(t_{k+1}) = Y_5(t_k) + (P_5(\bar{x}, \bar{Y}(t_k)) - U_5(\bar{x}, \bar{Y}(t_k)))h,$$

$$\text{где } P_5(\bar{x}, \bar{Y}(t_k)) = p_1^5(x_6) \cdot p_2^5(x_{14}) \cdot (N_7)^{-1},$$

$U_5(\bar{x}, \bar{Y}(t_k)) = Y_5(t_k) \cdot (N_7)^{-1}$, $U_5(\bar{x}, \bar{Y}(t_k))$ – убытие доли фондов в сельском хозяйстве. Рост доли сельскохозяйственного капитала $P_5(\bar{x}, \bar{Y}(t_k))$ определяется произведением двух множителей: $p_1^5(x_6)$ определяет долю капитала потраченного на сельское хозяйство в зависимости от существующего уровня питания, $p_2^5(x_{14})$ – зависимость доли фондов и интеллекта $x_{14} = q_4(x_{10})/q_2(x_6)$ от множителей зависимости качества жизни $q_4(x_{10})$ и относительного уровня питания населения, $q_2(x_6)$, N_7 – нормальная доля фондов в сельском хозяйстве,

Шаг 9. Рассчитывается уровень интегрального интеллекта общества $Y_6(t_k)$.

$$Y_6(t_{k+1}) = Y_6(t_k) + (P_6(\bar{x}, \bar{Y}(t_k)) - U_6(\bar{x}, \bar{Y}(t_k))) \cdot h,$$

$$\text{где } P_6(\bar{x}, \bar{Y}(t_k)) = Y_1(t_k) \cdot p_1^6(x_{10}) \cdot N_{19},$$

$U_6(\bar{x}, \bar{Y}(t_k)) = Y_6(t_k) \cdot N_{20}$, $P_6(\bar{x}, \bar{Y}(t_k))$ – темп генерации интеллекта, $U_6(\bar{x}, \bar{Y}(t_k))$ – темп убытия интеллекта общества, N_{19} – нормальный темп расходования интеллекта, N_{20} – нормальный темп расходования интеллекта, $p_1^6(x_{10})$ – множитель зависимости генерации интеллекта от уровня развития производительных сил.

Шаг 10. Определяется доля интеллекта в сельском хозяйстве $Y_7(t_k)$.

$$Y_7(t_{k+1}) = Y_7(t_k) + (P_7(\bar{x}, \bar{Y}(t_k)) - U_7(\bar{x}, \bar{Y}(t_k)))h,$$

$$\text{где } P_7(\bar{x}, \bar{Y}(t_k)) = p_1^7(x_6) \cdot p_2^7(x_{14}) \cdot N_{16},$$

$U_7(\bar{x}, \bar{Y}(t_k)) = Y_7(t_k) \cdot (N_{16})^{-1}$, $P_7(\bar{x}, \bar{Y}(t_k))$, $U_7(\bar{x}, \bar{Y}(t_k))$ – темпы генерации и убытия доли интеллекта в сельском хозяйстве, N_{16} – нормальная доля интеллекта в сельском хозяйстве, $p_1^7(x_6)$ – зависимость доли интеллекта от относительного уровня питания населения МЭС.

Шаг 11. Осуществляется расчет ВВП, необходимого как переменной состояния модели, которая устраняет недостатки модели, связанные с макроэкономическим регулированием.

Моделирование ВВП осуществляется двумя способами: как рыночная стоимость конечных товаров и

услуг, произведенных в экономике за определенный период времени (обычно год), а также на основе всех расходов общества МЭС на приобретение товаров и услуг, произведенных в моделируемом году.

При моделировании ВВП первым способом используется производственная функция следующего вида:

$$Y_8(t_k) = \alpha_0 K_w Y_1^{\alpha_1}(t_k) \cdot Y_2^{\alpha_2}(t_k) \cdot Y_6^{\alpha_3}(t_k), \quad (19)$$

где $Y_8(t_k)$ – ВВП, α_0 – коэффициент пропорциональности, $K_w Y_1(t_k)$ – численность трудоспособного населения, $Y_1(t_k)$ – численность населения, K_w – доля трудоспособного населения МЭС, $Y_2(t_k)$ – объем имеющихся в системе фондов, $Y_6(t_k)$ – интегральный интеллект общества, α_1 , α_2 , α_3 – показатели производственной функции.

Для определения $Y_8(t_k)$ в t_k году необходимо получать адекватное значение параметров модели α_0 , α_1 , α_2 , α_3 . Их значения определяются на основе МНК с использованием ретроспективных данных о ВВП, численности населения, объеме фондов, интеллекта общества.

Метод наименьших квадратов предполагает минимизацию функции-невязки между значением производственной функции (19) и данными ретроспективной выборки.

Функция представлена в виде линейной зависимости:

$$Y_8(t_k) = \alpha_0 + \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \alpha_3 x_3,$$

Для того чтобы определить приращение $dY_8(t_0)$ продифференцируем выражение (19):

$$dY_8 = \frac{dY_8}{dt} \cdot dt = \frac{d}{dt} [\ln Y_8(t)] \cdot dt = \frac{1}{Y_8(t)} \cdot \frac{dY_8(t)}{dt} \cdot dt,$$

$$\frac{dY_8(t_k)}{Y_8(t_k)} = \alpha_1(t_k) \frac{dY_1(t_k)}{Y_1(t_k)} + \alpha_2 \frac{dY_2(t_k)}{Y_2(t_k)} + \alpha_3 \frac{dY_6(t_k)}{Y_6(t_k)},$$

$$\ln Y_8(t_k) = \ln \alpha_0 + \alpha_1 \ln K_w Y_1(t_k) + \alpha_2 \ln Y_2(t_k) + \alpha_3 \ln Y_6(t_k). \quad (20)$$

Перейдя к конечным приращениям и учитывая, что α_0 – константа, получаем:

$$Y_8(t_{k+1}) = Y_8(t_k) + \left(\alpha_1 \cdot \frac{Y_1(t_{k+1}) - Y_1(t_k)}{Y_1(t_k)} + \alpha_2 \cdot \frac{Y_2(t_{k+1}) - Y_2(t_k)}{Y_2(t_k)} + \alpha_3 \cdot \frac{Y_6(t_{k+1}) - Y_6(t_k)}{Y_6(t_k)} \right),$$

где $Y_1(t_k)$, $Y_1(t_{k+1})$, $Y_2(t_k)$, $Y_2(t_{k+1})$, $Y_6(t_k)$, $Y_6(t_{k+1})$ – объемы ВВП, фондов и интегрального интеллекта общества в текущем t_k и следующем t_{k+1} временном интервале соответственно.

Для учета влияния значения состояния МЭС в предыдущем году на состояние в расчетном году. Оценки параметров α_0 , α_1 , α_2 , α_3 производственной функции находятся из условия минимума функции-невязки. В качестве функции-невязки выбрана следующая функция: $S = (1 - \mu)S_1 + \mu S_2$, где $0 \leq \mu \leq 1$, $\mu_Y = \alpha_1 \mu_{x_1} + \alpha_2 \mu_{x_2} + \alpha_3 \mu_{x_3}$ функция-невязки S_1 имеет следующий вид:

$$S_1 = \sum_{k=0}^n \left(\frac{\Delta Y_8(t_{k+1})}{Y_8(t_k)} - \alpha_1 \frac{\Delta Y_1(t_{k+1})}{Y_1(t_k)} - \alpha_2 \frac{\Delta Y_2(t_{k+1})}{Y_2(t_k)} - \alpha_3 \frac{\Delta Y_6(t_{k+1})}{Y_6(t_k)} \right)^2,$$

где n – количество точек ретроспективной выборки.
Функция S_2 определяет ошибку в момент времени t_k

$$S_2 = (\ln(Y_8(t_n)) - \ln\alpha_0 - \alpha_1 \ln(Y_2(t_n)) - \alpha_2 \ln(Y_2(t_n)) - \alpha_3 \ln(Y_6(t_n)))^2$$

где t_k – последний год выборки, n – количество точек ретроспективной выборки.

При получении адекватных значений α_0 , α_1 , α_2 , α_3 в качестве метода минимизации выбран метод золотого сечения с заданием граничных значений α_0 , α_1 , α_2 , α_3 . Используется следующий порядок минимизации функции S методом координатного спуска: минимизация по α_0 , минимизация по α_1 , минимизация по α_2 , минимизация по α_3 . При реализации этого метода вначале выбираются: начальная точка (α_0^0 , α_1^0 , α_2^0 , α_3^0), пределы изменения, точность нахождения. Далее последовательно применяется одномерная минимизация по α_0 , α_1 , α_2 , α_3 методом золотого сечения при заданном интервале изменения значений параметров производственной функции, т.е. при минимизации по α_1 значения α_2 и α_3 остаются равными их начальным значениям α_2^0 и α_3^0 . Обработка ретроспективной выборки осуществляется методом скользящего среднего. Данные по выборке пополняются текущими значениями параметров производственной функции в текущем году. При этом устаревшие значения ВВП постепенно отбрасываются в рамках заданного объема ретроспективной выборки.

Шаг 12. На основе методики СНС осуществляется моделирование ВВП по основным компонентам расходов общества МЭС к которым относятся: личные потребительские расходы $F_1(t_k)$, валовые внутренние инвестиции $F_2(t_k)$, государственные закупки товаров и услуг $F_3(t_k)$, а также чистый экспорт $F_4(t_k)$. В соответствии с этой методикой уровень ВВП может быть представлен следующим образом:

$$Y_8(t_k) = F_1(t_k) + F_2(t_k) + F_3(t_k) + F_4(t_k), \quad (21)$$

Макроэкономические показатели (21) являются составными элементами ВВП МЭС и по их значениям можно судить о состоянии МЭС. Данный перечень может быть дополнен рядом других макроэкономических показателей, которые позволяют определить баланс процессов развития МЭС: налоги (F_5), располагаемый доход (F_6), дефицит бюджета (F_7), экспорт (F_8), импорт (F_9), сбережение домашних хозяйств (F_{10}), трансфертные платежи (F_{11}).

В соответствии с общей макроэкономической теорией предполагается существовать зависимость этих показателей. Поскольку все показатели являются зависимыми необходимо определить степень зависимости. Определение степени зависимости выполняется на основе коэффициента Пирсона. Расчет коэффициентов корреляции Пирсона, осуществляется следующим образом:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (22)$$

где x_i, y_i – нормированное значение макроэкономических показателей (F_i) для которых определяется

степень корреляции, \bar{x} , \bar{y} – среднее значение показателей.

После вычисления коэффициента корреляции по Пирсону для переменных формируется таблица корреляции. Для отбора зависимых между собой показателей использовался следующее условие: $r_{xy} \in [-1, 1]$.

Для определения линейной зависимости используется ретроспективная статистическая информация. На основе обработки ретроспективной статистической информации по методу наименьших квадратов определяется параметры зависимостей, отражающие особенности МЭС.

Для контроля согласованности введенных зависимостей используется макроэкономические соглашения.

Шаг 13. После расчета всех уровней, время увеличивается на шаг моделирования ($k = k + 1$). Если $k < T$, то осуществляется переход к шагу 3 и рассчитываются значения всех уровней на данный момент системного времени.

Таким образом, разработанная имитационная модель позволяет осуществлять моделирование процессов развития МЭС и будет использована в рамках подсистемы прогнозирования. Для осуществления вариантного прогнозирования требуется осуществить настройку модели на реальную МЭС и провести проверку адекватности данной модели.

4. Выводы

В данной работе рассмотрены вопросы разработки структуры системы прогнозирования на основе имитационной модели процессов развития МЭС. Разработан алгоритм функционирования имитационной модели прогнозирования процессов развития МЭС, позволяющий получать траекторию изменения переменных состояния на основе метода системной динамики. При моделировании валового внутреннего продукта, предлагается применять производственную функцию, при этом структура ВВП определяется системой национальных счетов. Основным направлением дальнейших исследований является проведение экспериментов по различным уровням моделирования.

Литература

1. Лисицкий В.Л., Гринченко М.А. Структура системы прогнозирования развития макроэкономических систем // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ "ХПІ". – 2005. – № 59. – С. 105–109.
2. Форрестер Д. Мировая динамика. [пер. с англ. А.Н. Ворошук, С.А. Перогова]. – М.: Наука, 1979. – 179 с.
3. Долгосрочный прогноз социально-экономического развития Украины / [И.В. Кононенко, В.Л. Лисицкий, А.С. Понамарев, В.И. Алехин.] – Х.: ТОВ "Хартия". 1999. – 176 с.